

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-189684

(P2001-189684A)

(43) 公開日 平成13年7月10日 (2001.7.10)

(51) Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テーマコード(参考)

H 0 4 B 1/707

G 0 6 F 17/12

G 0 6 F 17/12

H 0 4 J 13/00

D

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-339122(P2000-339122)

(22) 出願日 平成12年11月7日(2000.11.7)

(31) 優先権主張番号 9914033

(32) 優先日 平成11年11月8日(1999.11.8)

(33) 優先権主張国 フランス (F R)

(71) 出願人 599036406

ミツビシ・エレクトリック・インフォメイ
ション・テクノロジー・センター・ヨーロ
ッパ・ビー・ヴィフランス国、35700 レンヌ、アヴニュ
ー・デ・ピュット・ド・コスケム 80

(72) 発明者 ブルーノ・ジョシヨー

フランス国、35700 レンヌ、アヴニュ
ー・デ・ピュット・ド・コエスム 80

(74) 代理人 100057874

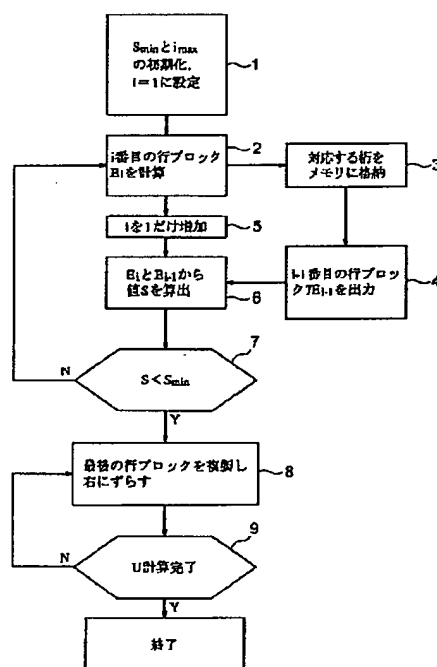
弁理士 曾我 道照 (外6名)

(54) 【発明の名称】 ジョイント検出方法

(57) 【要約】

【課題】 本発明は、CDMAタイプの通信システムの受信機において実行されるべく意図されたジョイント検出方法に関する。

【解決手段】 前記検出は、通信システムの送信機によって送信されベクトル x の形態で入力される信号を、前記通信システムの送信機から受信されベクトル y の形態で入力される一連の信号と、行列 A の形態で入力される前記通信システムの一連の特性と、ベクトル n の形態で入力され予想される一連のノイズ特性とから計算するステップからなり、前記計算ステップは、システム行列 A の関数である行列 M の逆行列 M^{-1} を算出するステップと、一連の受信信号 y を、前記逆行列 M^{-1} と前記システム行列 A の共役転置システム行列 A^* との積から得られた行列に掛けるステップとを含み、前記行列 M の逆行列 M^{-1} を算出するステップは、三角行列 U 又は L にコレスキイ変換するステップである。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 符号分割多元接続通信システムのような、通信システムの受信機において実行されるべく意図されたジョイント検出方法であって、

このジョイント検出方法は、前記通信システムの送信機によって送信されベクトル x の形態で入力される信号を、前記通信システムの送信機から受信されベクトル y の形態で入力される一連の信号と、行列 A の形態で入力される前記通信システムの一連の特性と、ベクトル n の形態で入力され予想される一連のノイズ特性とから計算するステップからなり、

前記計算ステップは、システム行列 A の関数である行列 M の逆行列 M^{-1} を算出するステップと、

一連の受信信号 y を、前記逆行列 M^{-1} と前記システム行列 A の共役転置システム行列 A^* との積から得られた行列に掛けるステップとを含み、

前記行列 M の逆行列 M^{-1} を算出するステップは、三角行列 U 又は L にコレスキイ変換するステップであるジョイント検出方法において、

前記三角行列を反復方法で求め、各反復が前記三角行列のブロックの行に存在する一連のブロックを計算し、閾値と比較され前記三角行列の計算処理の展開を特徴付ける所定の基準によって得られた値に基いて、次の反復をパスするか、1ブロックだけ右にシフトさせて他のすべての残りの行に対して現在の行を重複し、また適用可能ならば過剰ブロックを切り取ることを特徴とするジョイント検出方法。

【請求項2】 前記閾値は、前記計算の期間において利用可能な計算手段に依存して動的に求められることを特徴とする請求項1記載の方法。

【請求項3】 前記基準は、その値が、現在の行の一連のブロックの要素の少なくとも一つと、前回の反復で計算された行の一連のブロックの対応する要素または複数の要素とによってそれぞれ得られる値に依存していることを特徴とする請求項1又は2記載の方法。

【請求項4】 前記基準は、その値が、絶対値が最大である現在の行の一連のブロックの要素と、前の行の一連のブロックの対応する要素とによってそれぞれ得られた値の間の差の絶対値に等しいことを特徴とする請求項3記載の方法。

【請求項5】 前記基準は、その値が、現在の行の一連のブロックの全要素と、前の行の一連のブロックの対応する要素とによってそれぞれ得られた値の間の差の絶対値の最大値に等しいことを特徴とする請求項3記載の方法。

【請求項6】 前記基準の値が反復回数であり、閾値が反復の最大回数に対応していることを特徴とする請求項1から請求項5までのいずれか一つに記載の方法。

【請求項7】 符号分割多元接続の通信システムのような、通信システムの受信機であって、

前記通信システムの送信機によって送信された信号を受信、検出して再生するように設計されている受信機において、

前記信号を検出するために、請求項1から請求項6までのいずれか一つに基づく検出方法を実行するように設計されていることを特徴とする通信システムの受信機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、CDMA (Code Division Multiple Access: 符号分割多元接続) タイプの通信システムの受信機において実行されるべく意図されたジョイント検出方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】開発過程にある多数の通信システムがCDMA技術を実行している。これらの技術は、周波数資源のコード共有方式を使用している。すなわち、この方式では多数のユーザが同時に同じ周波数を使用し、また、ユーザが使用するコードを別々に分散させることによって区別されている。ユーザは一般的に、信号を自分の分散コードと比較することによって全受信信号中から自分に送信された信号を区別している。

【0003】しかし、受信信号の質がMAI (Multiple Access Interference: 多元接続インターフェアレンス) と呼ばれる他のユーザから発せられる残留インターフェアレンスによって低下する。ジョイント検出を含む種々の技術、より詳しくは同期化分散コードの場合で使用される技術が、他のユーザから発せられるこの残留インターフェアレンスを減じるために他のユーザの分散コードの知識を使用することに向けられている。

【0004】図1は、ジョイント検出方法を使用するCDMAタイプの通信システムのアップリンクのモデルを示す。このシステムは、各々 $10k$ ($k=1$ から K) の送信機を備えた K のユーザを受信するように設計されている。各送信機 $10k$ は、 N 個のデータ・シンボルのバースト中のユーザ k のデータ d^k を送信するように設計されており、これでこれらのデータは $d^k = \{x^1k, \dots, x^Nk\}$ で示され、ここで、 x^Nk はユーザ k によって送信された n^{th} (n 番目) のシンボルを表している。各送信機 $10k$ において、ユーザ k のデータ d^k はチャネル $20k$ に送信される前に、考慮中のユーザ k に割り当てられた長さ Q ビットの分散コード c^k に従属している。各チャネル $20k$ は、 h^k で示された時間と、 $B_c = 1/T_c$ で示された周波数帯域に渡って変化するパルス応答によって特徴付けられる。こうしてデータはチャネル $20k$ で送信される。各チャネル $20k$ のパルス応答 h^k を評価するために、 T_c に等しい時間によって互いに隔置された L 個のサンプルが考慮される。

【0005】クレイン他は、受信機によって受信された信号 y がディメンジョン ($N \times Q + L - 1$) のベクトル y によって表すことができ、このディメンジョンの要素

がKのユーザの各々によって送信された信号を表し、これもディメンジョン $(N \times Q + L - 1)$ のベクトル n によって表わされたガウス・ノイズに付加することが可能である。従って、次のように書くことができる。

$$y = Ax + n$$

ここに、 $x = [x^1_1, x^2_1, \dots, x^K_1, \dots, x^1_N, x^2_N, \dots, x^K_N]$ は、分散前の送信信号であり、 $y = [y_1, \dots, y_{N \cdot Q}, \dots, y_{N \cdot Q + L - 1}]$ は、受信機によって受信された信号であり、 $n = [n_1, \dots, n_{N \cdot Q}, \dots, n_{N \cdot Q + L - 1}]$ は、付加白色ガウス・ノイズであり、および A は、ディメンジョン $(N \cdot Q + L - 1) \times (K \cdot N)$ の行列である。

【0006】 A_{ij} で示される行列 A の各要素は、オーダー k の各チャネルのパルス応答性の評価に基づいて決定される。 $h^k = [h^k_1, h^k_2, \dots, h^k_L]$ 、 $k = 1, \dots, K$ とし、また、オーダー k の各分散コードに基づいて、 $c^k = [c^k_1, c^k_2, \dots, c^k_Q]$ 、 $k = 1, \dots, K$ とする。次のこと、 $i = Q \cdot (n - 1) + w$

が書ければ

$j = k + K(n - 1)$ である。

【0007】 CDMAタイプの通信システムは、各要素 A_{ij} が次のフォームで書くことができる方法でモデル化できる。 $A_{ij} = b^k_w$ 、ここで $k = 1 \dots K$ 、 $n = 1 \dots N$ 、および $w = 1 \dots Q + L - 1$ であり、 $A_{ij} = 0$ でなければ、ここに、 $b^k = c^k * h^k = [b^k_1, b^k_2, \dots, b^k_{Q+L-1}]$ 、ここで $k = 1 \dots K$ である。

【0008】 各ユーザ k によって送信されたデータを評価するために、1994年IEEEによって出版された「符号分割多元接続モビル・ラジオ・システムによるマルチ・ユーザ検出のためのイコライザ」と称する記事でA. Klein, G.K. KalehおよびP.W. Baierによって開示されたようなジョイント検出が、受信機30内で実行できる。

【0009】 これら公知のジョイント検出方法は、検出信号 y 、システム行列 A およびノイズベクトル n を既知として、本質的にシンボル x のベクトルを決定することによって上述の付与された行列式を解くことからなる。

【0010】 ベクトル y 、行列 A およびベクトル n の既知内容は、当該技術に習熟した人において知られている評価方法によってさらに実行されていることに注意しなければならない。従って、この説明についてはさらなる詳細説明は省略する。

【0011】 さらに、時間にもよって変化する各チャネル $20k$ のパルス応答を特に考慮して、行列 A の要素がそのつど、値を変化させることにも注意しなければならない。

【0012】 上述の方法によるシンボルベクトル x の決定は、一般的に次の二つの基準 (criteria) の内の一つを使用し、一方においてゼロ・フォーシング (ZF: zero forcing) であり、他方において「最小二乗平均誤差」(MMSE: Minimum Mean Square Error) である。これらの二つの基準はそれぞれ次の解法につながる。ゼ

ロ・フォーシング基準に対して、

$$x = (A^* A)^{-1} A^* y,$$

また、最小二乗平均誤差MMSE基準に対して、

$$x = (A^* A + \sigma^2 I)^{-1} A^* y$$

(I は単位行列、 σ^2 はノイズベクトル n の要素の変数である)。

【0013】 説明の残りの部分において、指数 $+$ はその共役転置に関係する行列平均に適用される。

【0014】 これらの式は次のように書くこともできる。

$$x = M^{-1} A^* y$$

【0015】 気がつくであろうが、従って、この式の解法は、 M で表される行列の逆行列を必要とし、この M は共役転置システム行列 A^* とシステム行列 A との積 $A^* \cdot A$ に等しいか、または共役転置システム行列 A^* とノイズの変数 σ^2 で乗算された単位行列 I の加算されたシステム行列 A との積 $A^* \cdot A + \sigma^2 I$ に等しいかのいずれかである。

【0016】 行列 M がエルミート (Hermitian) 行列であり、限定され、かつ正の行列であるとき (上述したCDMAシステムのモデリングの場合常にそうであるが)、行列 M は、コレスキイ・アルゴリズム (Cholesky algorithm) として参照されるアルゴリズムによって、行列 M が共役転置行列 U^* と上三角行列 U との積に等しいような、上三角行列 U (または選択された表記法に基づく下三角行列 L) に変換できる。

$$M = U^* \cdot U,$$

あるいは、下三角行列 L と共役転置行列 L^* との積になるような場合もありうる。

$$M = L \cdot L^*$$

【0017】 しかし、行列 M の逆行列は、次の場合大きく簡略化される。すなわち、逆行列 M^{-1} が逆行列 U^{-1} とこの逆行列の共役転置 $(U^{-1})^*$ との積に等しい場合

$$M^{-1} = U^{-1} (U^{-1})^*,$$

あるいは共役転置行列 $(L^{-1})^*$ と逆行列 L^{-1} との積に等しい場合である。

$$M^{-1} = (L^{-1})^* \cdot L^{-1}$$

【0018】 U の逆行列演算に必要な少数の演算を考慮したとき、コレスキイ変換を介する M の逆行列演算には、直接計算による M の逆行列演算よりもより多くの少数演算を必要とする。

【0019】 このコレスキイ変換方法は、従来の直接の逆行列演算技術と比較して、約 $2(T^3/6)$ の複雑性、 T は行列のディメンジョン) のファクタだけこの計算の複雑性を減じることができる。しかし、計算量はなお極めて多く残ったままである。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】 本発明の目的は、コレスキイ変換方法を使用するが、計算量は従来技術の方法

と比較して減少したジョイント検出方法を提供する。

【0021】

【課題を解決するための手段】この目的のために、本発明に基づくジョイント検出方法は、前記通信システムの送信機によって送信されベクトル x の形態で入力される信号を、前記通信システムの送信機から受信されベクトル y の形態で入力される一連の信号と、行列 A の形態で入力される前記通信システムの一連の特性と、ベクトル n の形態で入力され予想される一連のノイズ特性とから計算するステップからなり、前記計算ステップは、システム行列 A の関数である行列 M の逆行列 M^{-1} を算出するステップと、一連の受信信号 y を、前記逆行列 M^{-1} と前記システム行列 A の共役転置システム行列 A^* との積から得られた行列に掛けるステップとを含み、前記行列 M の逆行列 M^{-1} を算出するステップは、三角行列 U 又は L にコレスキイ変換するステップである。

【0022】この方法が、前記三角行列を反復方法で求め、各反復が前記三角行列のブロックの行に存在する一連のブロックを計算し、閾値と比較され前記三角行列の計算処理の展開を特徴付ける所定の基準によって得られた値に基いて、次の反復をパスするか、1ブロックだけ右にシフトさせて他のすべての残りの行に対して現在の行を重複し、また適用可能なば過剰ブロックを切り取

ることを特徴とする。

【0023】本発明の他の特徴によれば、前記閾値が、前記計算の期間において利用可能な計算手段に依存して動的に決定される。

【0024】本発明の他の特徴によれば、前記基準は、その値が、現在の行の一連のブロックの要素の少なくとも一つと、前回の反復で計算された行の一連のブロックの対応する要素または複数の要素とによってそれぞれ得られる値に依存している。

【0025】本発明の他の特徴によれば、前記基準は、その値が、絶対値が最大である現在の行の一連のブロックの要素と、前の行の一連のブロックの対応する要素とによってそれぞれ得られた値の間の差の絶対値に等しい。

【0026】本発明の他の特徴によれば、前記基準は、その値が、現在の行の一連のブロックの全要素と、前の行の一連のブロックの対応する要素とによってそれぞれ得られた値の間の差の絶対値の最大値に等しい。

【0027】本発明の他の特徴によれば、前記基準の値が反復回数であり、閾値が反復の最大回数に対応している。

【0028】本発明は、上述した検出方法を実行するように設計された受信機に関する。

【0029】本発明の上述した特徴だけでなく他の特徴は、添付図面に関連する実施の形態の次なる説明を読むことによってより明らかとなろう。

【0030】

【発明の実施の形態】実施の形態1. 本発明は、CDMA通信システムの特徴を表す行列 M (ZFの場合、 $M = A^* A$ 、あるいはMMSEの場合、 $M = A^* A + \sigma^2 I$ の状態でなければならない)が、ディメンジョン $[K \times K]$ のブロック内のテプリッツ(Toeplitz)タイプであるという事実に基づいている。

【0031】これは、行列 M の要素がディメンジョン $K \times K$ のブロックに互いにグループ化されれば、行列 M の最初のブロックまたは最後のブロックから始まる対角線と平行な一つの、また、同じ行に属するブロックが互いに等しいからである。同様のことが、前記対角線に属するブロックにも適用される。

【0032】図2に関連して、行列 M ($U = C(M) = C(A^* A)$ か、または $C(A^* A + \sigma^2 I)$ のいずれか)のコレスキイ変換から得られる行列 U が考慮されることになる。

【0033】図2で気がつくであろうが、行列 U は上三角行列である。従って、対角線の左側にあるブロックの行の各部分はディメンジョン $[K, K]$ のゼロ乗行列に等しいブロックから構成される。対角線の右側にある指数 i のブロックの行の各部分は、この対角線を含めて言えば、これはディメンジョン $[K, K]$ の少なくとも一つのブロック $U_{i,p}$ (p はブロックの列の指数である)と、続いて示される E_i の一連のブロックを形成するディメンジョン $[K, K]$ の近接するブロック i のほとんどの $P+1$ とからなる。 $(P+1)^{th}$ を越えて位置するブロックは、もしそれが存在するとすれば、ゼロ行列である。従って、図2で示することができる。すなわち、 $i \leq N-P+1$ のとき、 $E_i = [U_{i,0} \ U_{i,1} \ \dots \ U_{i,p}]$ 、 $i > N-P+1$ のとき、 $E_i = [U_{i,0} \ \dots \ U_{i,N-i}]$ 、さらに、 $E_N = U_{N,0}$ である。

【0034】 P は $(1 + (L-1)/Q)$ の指数部分であることを示すことになる。

【0035】さらに、一連のブロック E_i の第1行の要素は、行列 U の $i \cdot K^{th}$ 行の $i \cdot K^{th}$ 要素であると考えられることもできることに注意しなければならない。

【0036】ブロック $U_{i,p}$ のブロック列指数 p が行列 U の対角線につきゼロである表記をここで使用できるようにすることに注意しなければならない。この説明の残りの部分において、セット E_i のブロック $U_{i,p}$ の要素 $a_{n,m}$ (n^{th} 行、 m^{th} 列)は、セット E_{i-1} のブロック $U_{i-1,p}$ の要素 $a_{n,m}$ (同じ行と列指数)に対応すると言うことになる。

【0037】ブロックは全て互いに異なっている。しかし、J. Rissanenは「コンピュータ操作の数学」、1973年1月、vol. 27, n-121、147-157ページに発表された記事で、そのディメンジョンが無限に向かう傾向にある行列であって、エルミートが規定され、ボジティブであり、またブロック中でテプレッツ・タイプであり、コレスキイ変換から帰着する行列として、ブロッ

クのセットEが特定する特徴を有する行列Uを有しているゼロでないブロックの有限数からなる。

【0038】図2の符号を使用することにより、これらの特徴の一つは、ブロック行指数iが大きくなればなるほど、指数Nが無限に向かう傾向にあるとき、ブロックが非対称的に等価に向かう傾向になるまで、ブロックU_{i,p} (pは0とPの間)とブロックU_{i-1,p}間の差がますます小さくなることである。

【0039】本発明は本質的にこの特性に基づいている。本発明はまた図1に示した非常に大きい(例えば、Nが61と976の間、またKが1から16の間に等しいUMTS-TDDの場合)ネットワークのような通信ネットワークの場合において処理されるべき行列のためにも適用可能である。

【0040】従って、本発明は反復方向で行列Uの計算を処理する。各反復において、一連のブロックE_iがコレスキイ方法を適用することによって計算され、その通常の位置で行列Uに書き込まれる。

【0041】従って、行列Uを計算するための処理の評価を特徴付ける所定の基準によって得られた値に基づいて、次の反復を開始するか、または1ブロックだけ右に、指数iの行からj=i+1を伴う指数jの他の行にNまで、シフトさせて二度(重複して)行うかを決定する。より詳しく説明すると、この基準によって得られた値は、閾値よりも小さければ、1ブロックだけ右へシフトして二度実行するか、さもなければ次の反復を実行するかが考慮される。

【0042】理解できるであろうが、二度実行し1ブロックだけ右にシフトするとき、書き込まれるべきブロックの数が、前のブロックの行内のブロックの数よりも少ない場合、二度実行されるべきセットを切り取る必要がある。

【0043】閾値は処理時間で利用可能な資源(計算手段)に依存して動的に変化することに注意しなければならない。

【0044】実施の形態1によれば、行列Uを計算する処理の展開を特徴付けるために、この基準値は、ブロックの現在の行のセットE_iの要素a_{n,m}と、ブロックの前の行のセットE_{i-1}の対応する要素、つまり複数の要素a_{n,m}の少なくとも一つによって得られた値に依存している。

【0045】例えば、この基準値は、一方においてその全ての要素中の最大絶対値を有するために選択されたブロックの現在の行のセットE_iの要素a_{n,m}と、他方においてブロックの前の行のセットE_{i-1}の対応する要素a_{n,m}によって、それぞれ得られた値における差の絶対値である。

【0046】現在の行のセットE_iの要素a_{n,m}と、前の行のセットE_{i-1}の対応する要素a_{n,m}によって、それぞれ得られた値同士の差の絶対値の最大値を、基準値とし

て得ることもできる。

【0047】これらの二つの場合において、閾値は許容可能なエラー・レベルに対応する。この値を選択することで、(この値に対応するレベルに)たぶん下がるが、計算の複雑性がより低くなっているジョイント検出を得ることを可能にする。

【0048】図3は、この実施の形態1に基づく本発明の方法を展開したフローチャートである。

【0049】ステップ1は、開始ステップであって、このステップ中に処理の種々の変数が決定される。これは閾値S_{min}の値と、ここで1に初期化される考慮下での反復の回数を表す変数iの値とが顕著な場合である。

【0050】ステップ2において、一連のブロックE_iの全ての要素の値が計算される。対応する行は、ステップ3で考慮された場所において行列U内に記憶される。

【0051】ステップ4において、一連のブロックE_{i-1}の要素の出力があり、反復処理に与えられるべき連続性を決定するのに使用される。

【0052】ステップ5において、反復の回数iが増加される。

【0053】ステップ6において、基準値Sが上述した説明に基づいて計算される。

【0054】ステップ7において、この基準値Sが、ステップ1で考慮して決定された閾値S_{min}と比較され

(あるいは利用可能な資源(計算手段)条件に依存するのでたぶん再計算される)、また、行列Uを計算する過程の継続に関する決定が実行される。ステップ2が次の行を計算するために再度実行されるか、あるいは重複演算と右側へシフトするためのステップ8が実行される。この演算をするために、ループが設けられ、行列Uの最終行が計算されたときに、ステップ9において中断されることに注意しなければならない。

【0055】本発明の方法の結果は図2で示すことができ、j_{th} (j番目)の行から、二度実行された行に等しい行が1ブロックだけ右にそのつどシフトされて、考慮中の行の半分(ハーフライン)がPブロックより少ないときに、必要があれば切り取られる。

【0056】実施の形態2。実施の形態2によれば、この基準値は実行された反復回数である。従って、閾値は実行されるジョイント検出処理に割り当てられた最大計算容量なしに許容可能な反復の最大回数に対応する。

【0057】図4は、本実施の形態2に対応するフローチャートを示し、同じステップは同じ参照符号を付し、またステップ4及び6は消滅している。新しいステップ7'が反復の現回数iと、ステップ1において決定された反復の許容可能回数i_{max}との間の比較を実行するか、または利用可能な資源(計算手段)条件に基づいて実行する。

【0058】実施の形態1及び実施の形態2は、お互いに排他的なものではなく、いっしょに実行することがで

きることに注意しなければならない。

【0059】 これまでに採り上げられた説明は、上三角行列 U となるコレスキ変換を考慮して得られ、また、本発明は下三角行列 L につながるコレスキ変換に同等に適用されることに注意しなければならない。従って、この方法はここに説明したものと同一ステップを有することになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明によるジョイント検出方法を実行するように設計されたCDMAシステムのブロック図であ

る。

【図2】 本発明の方法を実行するコレスキ変換から得られた行列の図である。

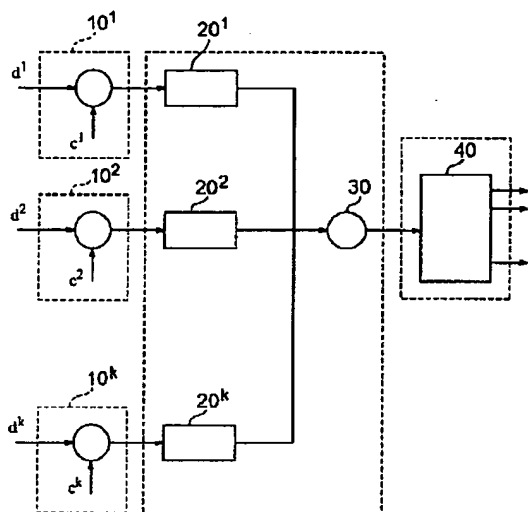
【図3】 本発明の実施の形態1による方法によって実行された種々のステップを示す図である。

【図4】 本発明の実施の形態2による方法によって実行された種々のステップを示す図である。

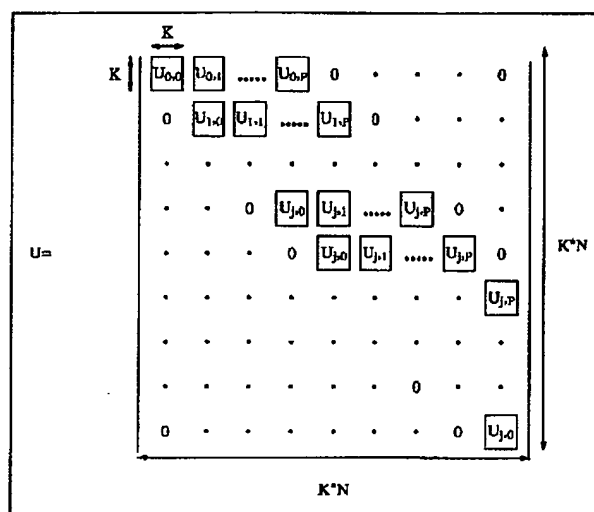
【符号の説明】

10 送信機、20 チャネル、30 受信機。

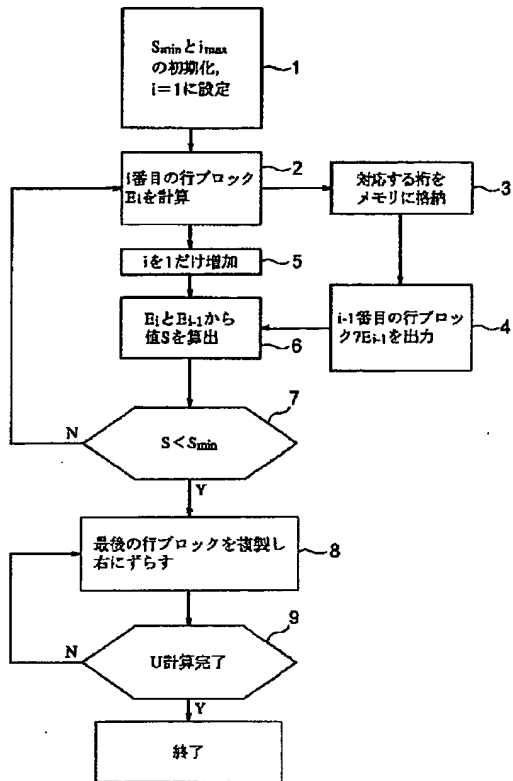
【図1】



【図2】



【図3】



【図4】

